



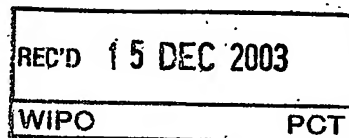
Ministero delle Attività Produttive

Direzione Generale per lo Sviluppo Produttivo e la Competitività
Ufficio Italiano Brevetti e Marchi
Ufficio G2

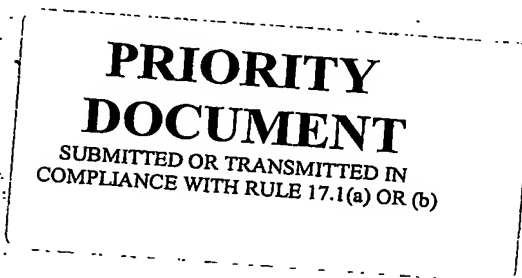
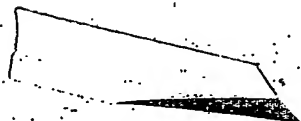


Autenticazione di copia di documenti relativi alla domanda di brevetto per: **Invenzione Industriale**

N. **TO2002 A 000845**

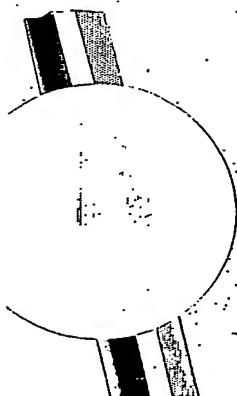


*Si dichiara che l'unita copia è conforme ai documenti originali
depositati con la domanda di brevetto sopraspecificata, i cui dati
risultano dall'accluso processo verbale di deposito.*



na, il **24 NOV. 2003**

IL DIRIGENTE
Paola Giuliano
D.ssa Paola Giuliano



AL MINISTERO DELL'INDUSTRIA DEL COMMERCIO E DELL'ARTIGIANATO
UFFICIO ITALIANO BREVETTI E MARCHI - ROMA

MODULO A

marca
da
bollo

A. RICHIEDENTE (I)

1) Denominazione: BRIGHT SOLUTIONS SOLUZIONI LASER INNOVATIVE S.r.l.
Residenza: CURA CARPIGNANO (PV)

RG
SR

2) Denominazione: _____ codice _____
Residenza: _____ codice _____

B. RAPPRESENTANTE DEL RICHIEDENTE PRESSO L'U.I.B.M.

cognome e nome: CROVINI Giorgio (Iscr. Albo 857BM)

denominazione studio di appartenenza: METROCONSULT S.r.l. cod. fiscale _____

via: Piazza Cavour n. 3 città: NONE

C. DOMICILIO ELETTIVO destinatario _____ cap: 10060 (prov): TO

via: _____ n. _____ città: _____ cap: _____ (prov): _____

D. TITOLO

classe proposta (sez/cl/scf) _____ gruppo/sottogruppo _____

"Metodo per la selezione della polarizzazione del fascio laser oscillante all'interno di una cavità laser"

ANTICIPATA ACCESSIBILITÀ AL PUBBLICO: SI ☐ NO ☒

E. INVENTORI DESIGNATI

cognome nome

SE ISTANZA: DATA _____

N° PROTOCOLLO _____

1) AGNESI Antoniangelo

cognome nome

2) Dell'Acqua Stefano

3) PICCINNO Giuliano

F. PRIORITÀ

nazionalità o organizzazione

tipo di priorità

numero di domanda

data di deposito

allegato
S/R

SCIOGIMENTO RISERVE

Data

N° Protocollo

1)

2)

G. CE

H. AI

DOCUMENTAZIONE ALLEGATA

N. es.

Doc. 1) 2 PROV n. pag. 26

Doc. 2) 2 PROV n. tav. 07

Doc. 3) RIS

Doc. 4) RIS

Doc. 5) RIS

Doc. 6) RIS

Doc. 7) _____

attestati di versamento, totale lire

EURO duecentonovantuno/81

COMPILATO IL 27 09 2002

FIRMA DEL (I) RICHIEDENTE (I)

Il Rappresentante

obbligatorio

CONTINUA SINO NO

Ing. Crovini Giorgio (Iscr. Albo 857BM)

EL PRESENTE ATTO SI RICHIEDE COPIA AUTENTICA SINO SI

UFFICIO PROVINCIALE IND. COMM. ART. DI

C.G.I.A.

TORINO

ERBALE DI DEPOSITO

NUMERO DI DOMANDA

10 2002 A 000845

codice 01

anno millenovecento

DUEMILADUE

il giorno

VENTISETTE

del mese di

SETTEMBRE

(I) richiedente (I) sopraindicato (I) ha (hanno) presentato a me sottoscritto la presente domanda, corredata di n. _____ fogli aggiuntivi per la concessione del brevetto sopraportato.

ANNOTAZIONI VARIE DELL'UFFICIO ROGANTE

IL DEPOSITANTE

Giorgio Crovini



Silvana BUSO

CATEGORIA D

L'UFFICIALE ROGANTE

R. P. ...

11/0

NUMERO DOMANDA

10 2002 A 000845

NUMERO BREVETTO

DATA DI DEPOSITO 27/09/2002

DATA DI RILASCIO

A. RICHIEDENTE (I)

Denominazione

BRIGHT SOLUTIONS SOLUZIONI LASER INNOVATIVE S.R.L.

Residenza

CURA CARPIGNANO (PV)

D. TITOLO

Metodo per la selezione della polarizzazione del fascio laser oscillante
all'interno di una cavità laser"

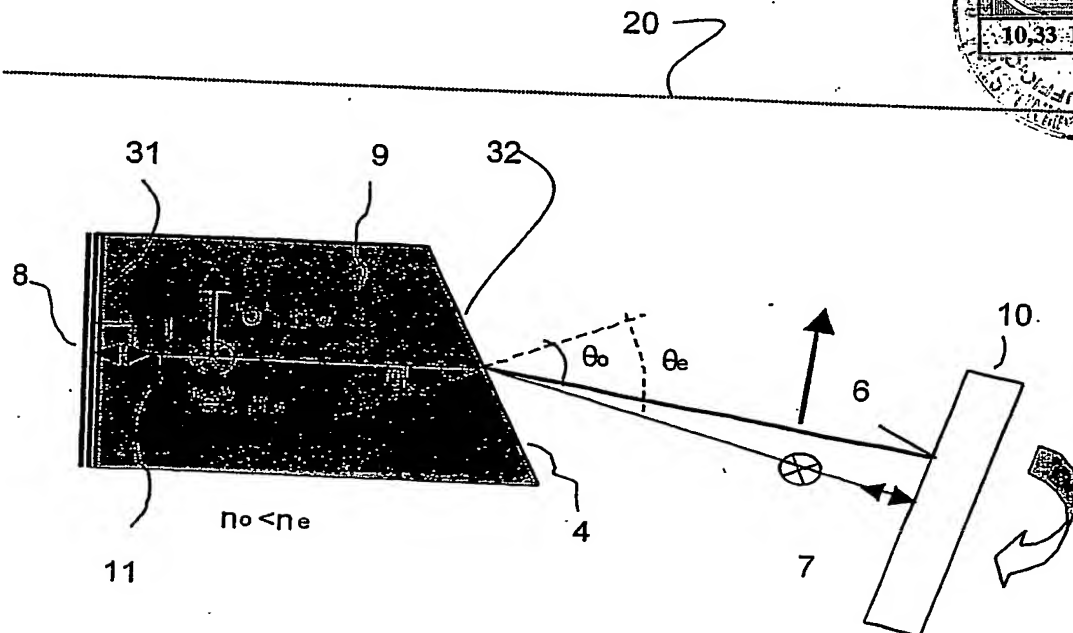
Classe proposta (sez./cl./scl/)

(gruppo/sottogruppo)

L. RIASSUNTO

Metodo per la selezione della polarizzazione del fascio laser all'interno di una cavità laser che prevede di generare un fascio laser (1) all'interno di detta cavità laser risonante (20), che comprende mezzi ottici (8,10,9;9',12;9',14;13;33) comprendenti a loro volta uno o più mezzi ottici birifrangenti (9;12;14;13). Secondo l'invenzione si ha di impiegare detti mezzi ottici birifrangenti (9;12;14;13) per indurre un effetto di doppia rifrazione sul fascio laser (1) e, all'interfaccia (22;32;41,42;51,52;61,62) tra detti mezzi (9;12;14;13) ed un secondo mezzo con diverso indice di rifrazione, separare le direzioni di propagazione delle differenti componenti di polarizzazione (2,3) del fascio laser (1) fornendo una pluralità di direzioni di risonanza (6,7) distinte per le differenti componenti di polarizzazione (2, 3), e di allineare selettivamente l'asse ottico della cavità (20) su di una delle dette posizioni di risonanza (6,7), tramite la regolazione della posizione di uno o più degli elementi ottici (8,9,10;9',12;9',14;13,33) che formano detta cavità (20)

I. DISEGNO



C.C.I.A.A.
torino

Descrizione dell'invenzione industriale dal titolo:

- BRS002 -

"METODO PER LA SELEZIONE DELLA POLARIZZAZIONE DEL FASCIO LASER OSCILLANTE ALL'INTERNO DI UNA CAVITÀ LASER "

di Bright Solutions Soluzioni Laser Innovative s.r.l., di nazionalità italiana, con sede in Strada Paiola 3, 27010 Cura Carpignano (PV), ed elettivamente domiciliata presso i Mandatari Ing. Roberto Dini (N.Iscr. 270) e Ing. Giorgio Crovini (N.Iscr. 857 BM), c/o Metroconsult S.r.l., Piazza Cavour 3, 10060 None (TO).

Inventori designati: Antoniangelo Agnesi, Via Ticino, 2 27020 Torre d'Isola (PV)

Stefano Dell'Acqua, Via N. Sauro, 25 27100 Pavia

Giuliano Piccinno Via Milanese, 6 27028 S. Martino Siccomario (PV)

Depositata il **27 SET. 2002** No. **10 2 002 A 000845**

RIASSUNTO

Metodo per la selezione della polarizzazione del fascio laser all'interno di una cavità laser che prevede di generare un fascio laser (1) all'interno di detta cavità laser risonante (20), che comprende mezzi ottici (8,10,9;9',12;9',14;13;33) comprendenti a loro volta uno o più mezzi ottici birifrangenti (9;12;14;13). Secondo l'invenzione si ha di impiegare detti mezzi ottici birifrangenti (9;12;14;13) per indurre un effetto di doppia rifrazione sul fascio laser (1) e, all'interfaccia (22;32;41,42;51,52;61,62) tra detti mezzi (9;12;14;13) ed un secondo mezzo con diverso indice di rifrazione, separare le direzioni di propagazione delle differenti componenti di polarizzazione (2,3) del fascio laser (1) fornendo una pluralità di direzioni di risonanza (6,7) distinte per le differenti componenti di polarizzazione (2, 3), e di allineare selettivamente l'asse ottico della cavità (20) su di una delle dette posizioni di risonanza (6,7), tramite la regolazione della posizione di uno o più degli elementi ottici

Ing. Giorgio CROVINI
Giorgio Crovini

(8,9,10;9',12,9',14;13,33) che formano detta cavità (20)

DESCRIZIONE

La presente invenzione si riferisce ad un metodo per la selezione della polarizzazione del fascio laser all'interno di una cavità laser che prevede di generare un fascio laser all'interno di una cavità risonante comprendente uno o più mezzi ottici birifrangenti. Nella realizzazione di sistemi laser a stato solido risulta spesso utile selezionare la polarizzazione della luce laser generata all'interno dell'oscillatore, cioè della cavità laser. Lo stato di polarizzazione della luce laser risulta infatti particolarmente importante in alcune applicazioni di interazione laser-materia, come i processi non lineari di generazione di armoniche superiori o di generazione parametrica; ove si richieda l'impiego di un fascio laser polarizzato, risulta nella maggior parte dei casi conveniente selezionare la polarizzazione all'interno dell'oscillatore, piuttosto che all'esterno dello stesso. Se infatti l'oscillatore emette luce non polarizzata, la selezione esterna della polarizzazione comporta il dimezzamento della potenza disponibile, mentre la selezione interna comporta perdite molto minori: ciò grazie al fatto che l'elemento attivo nella cavità può in questo caso impiegare tutto il proprio guadagno a vantaggio della polarizzazione della quale è consentita l'oscillazione.

Inoltre, numerosi dispositivi opto-elettronici con cui il fascio può interagire (all'interno o all'esterno della cavità laser) hanno un comportamento differente a seconda dello stato e del grado di polarizzazione della luce laser che incida su di essi.

Appartiene a questa categoria, ad esempio, il modulatore elettro-ottico di Q-switching: poiché, commutando la tensione al modulatore, quest'ultimo agisce alterando la polarizzazione della luce che lo attraversa, l'effetto di Q-switching (ovvero modulazione delle perdite di cavità) viene raggiunto imponendo che la cavità oscilli senza perdite su una ben precisa polarizzazione, e non oscilli (cioè abbia perdite elevate), a causa di un

Ing. Giorgio CROVINI
Giorgio Crovini

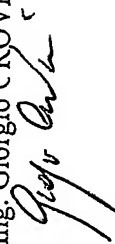
dispositivo di selezione, sulla polarizzazione ortogonale.

Metodi di modulazione delle perdite di cavità tramite un elemento selettivo della polarizzazione nel risonatore possono essere impiegati per imporre il regime di funzionamento detto di “mode-locking”, per la generazione di impulsi laser di durata inferiore al nanosecondo.

E' possibile distinguere almeno tre diverse occorrenze in cui il progettista ricorre ad un elemento selettore di polarizzazione per ottenere radiazione polarizzata (linearmente) dall'oscillatore, dipendenti dal tipo di materiale attivo impiegato:

- 1) se il materiale laser è otticamente e termo-meccanicamente isotropo, come il Nd:YAG, o che, comunque, emette radiazione laser non polarizzata (come, ad esempio, il Nd:YVO₄ c-cut); in tal caso l'elemento polarizzatore forza il funzionamento di una direzione di polarizzazione ben determinata;
- 2) se il materiale laser è otticamente e/o termo-meccanicamente anisotropo, come il Nd:YVO₄ e il Nd:GdVO₄ a-cut, le cui proprietà di anisotropia forzano l'oscillazione di una polarizzazione precisa; in tal caso l'elemento polarizzatore può essere impiegato per migliorare il grado di polarizzazione spontanea o per forzare l'oscillazione della polarizzazione ortogonale o di un'altra polarizzazione;
- 3) se il materiale laser è otticamente e/o termo-meccanicamente anisotropo, ed emette luce laser di lunghezze d'onda differenti o con proprietà laser differenti nelle direzioni principali di anisotropia, come il Nd:YLF, Nd:YVO o Nd:GVO; in tal caso l'elemento polarizzatore può essere vantaggiosamente impiegato per selezionare contemporaneamente lo stato di polarizzazione, la lunghezza d'onda o altre proprietà dell'oscillazione laser.

Tradizionalmente, la selezione della polarizzazione oscillante avviene per mezzo di elementi ottici che impongono una ben precisa polarizzazione lineare (la selezione di

Ing. Giorgio CROVINI


polarizzazione ellittica è possibile ma generalmente non molto utile). Il concetto comune di funzionamento di questi elementi si basa sull'introduzione di perdite differenti per la luce che oscilla nel risonatore sull'una o sull'altra polarizzazione lineare.

La maggior parte dei dispositivi polarizzatori noti sfrutta le proprietà di trasmissione e riflessione di Fresnel per superfici inclinate all'angolo di Brewster; come è ben noto quando un fascio laser non polarizzato incide su una lamina di materiale otticamente denso (indice di rifrazione n) ad un angolo di incidenza (misurato rispetto alla normale al piano della lamina) pari all'angolo di Brewster, dipendente dall'indice di rifrazione, la componente di fascio polarizzata nel piano parallelo all'angolo di Brewster viene trasmessa senza perdite, mentre la componente perpendicolare subisce perdite di potenza per riflessione commisurate al valore dell'indice di rifrazione n . Con una scelta opportuna di materiale, è possibile far sì che la polarizzazione indesiderata subisca perdite sufficienti per non raggiungere la condizione di soglia laser, mentre la polarizzazione principale oscilla liberamente. Una tipica realizzazione del dispositivo consiste nel lavorare una o entrambe le facce del materiale attivo in modo che presentino l'appropriato angolo di Brewster rispetto alla direzione di propagazione del modo in cavità.

Sono noti dispositivi più raffinati, che sfruttano le proprietà di opportuni strati dielettrici depositi su una superficie ottica per esaltare le differenti proprietà di trasmissione della luce polarizzata da una superficie inclinata: a questa categoria appartengono i polarizzatori a film dielettrico (ad angolo di Brewster, e a 45°).

Altri polarizzatori noti operano secondo il principio della birifrangenza, mediante la separazione angolare delle componenti principali di polarizzazione. Dispositivi di tal fatta sono, per esempio, i prismi di Glan-Taylor, Glan-Thompson, Nicol, Wollaston e Rochon, composti di due elementi di calcite o calcite e quarzo, incollati o spazati in aria.

Tali elementi non possono venire facilmente utilizzati in sistemi laser di elevata potenza

Ing. Giorgio ORQUIN



media a causa delle perdite intrinseche e dell'assorbimento abbastanza elevati. Per lo stesso motivo, controindicati risultano anche i polarizzatori dicroici (polaroidi).

Risulta evidente come, allo stato dell'arte nota, gli unici metodi di selezione di uno stato preferenziale di polarizzazione praticamente attuabili in un laser di elevata potenza media, richiedano l'uso di elementi dielettrici specifici o di superfici non rivestite all'appropriato angolo di Brewster all'interno del risonatore. I primi risultano sicuramente i più efficaci per l'altissimo contrasto di trasmissione tra le due polarizzazioni ortogonali, tuttavia presentano (in generale) perdite non trascurabili per la polarizzazione oscillante (tip. 2-5%, valore spesso confrontabile con la trasmissione dell'accoppiatore d'uscita, cosicché parte significativa della potenza estraibile viene dispersa) e sono, in generale, costosi e relativamente ingombranti in un moderno risonatore laser. Di converso, una semplice lamina o superficie all'angolo di Brewster non è dotata usualmente di un contrasto sufficiente per selezionare la polarizzazione in un oscillatore ad alto guadagno; inoltre, qualora detta lamina venga integrata quale faccia di uscita del mezzo attivo, comporta elevati costi di lavorazione.

La presente invenzione si propone di risolvere gli inconvenienti sopra citati e di indicare un metodo per la selezione della polarizzazione del fascio laser all'interno di una cavità laser di realizzazione migliorata e più efficiente rispetto alle soluzioni note.

In tale ambito, scopo principale della presente invenzione è quello di indicare un metodo per la selezione della polarizzazione del fascio laser all'interno di una cavità laser adatto all'impiego in apparati ad alta potenza media, consentendo elevate prestazioni e, in particolare, elevato contrasto di trasmissione.

Un ulteriore scopo della presente invenzione è quello di indicare un metodo per la selezione della polarizzazione del fascio laser all'interno di una cavità laser che determini un assorbimento o, in generale, delle perdite trascurabili di luce laser nell'uso in cavità ad



Ing. Giorgio GROVINI
Giorgio Grovini

alta potenza media.

Un ulteriore scopo della presente invenzione è quello di indicare un metodo per la selezione della polarizzazione del fascio laser all'interno di una cavità laser che sia di basso costo di realizzazione e consenta semplicità d'impiego.

Per raggiungere tali scopi, formano oggetto della presente invenzione un metodo per la selezione della polarizzazione del fascio laser all'interno di una cavità laser e/o un apparato incorporanti le caratteristiche delle rivendicazioni allegate che fanno parte integrante della presente descrizione.

Ulteriori scopi, caratteristiche e vantaggi della presente invenzione risulteranno chiari dalla descrizione particolareggiata che segue e dai disegni annessi, forniti a puro titolo di esempio esplicativo e non limitativo, in cui:

- la figura 1 rappresenta uno schema illustrativo di un fenomeno fisico impiegato dal metodo per la selezione della polarizzazione del fascio laser all'interno di una cavità laser secondo l'invenzione;
- la figura 2 rappresenta uno schema di principio di un metodo per la selezione della polarizzazione del fascio laser all'interno di una cavità laser secondo l'invenzione;
- la figura 3 rappresenta uno schema di principio di una ulteriore forma realizzativa del metodo per la selezione della polarizzazione del fascio laser all'interno di una cavità laser secondo l'invenzione;
- la figura 4 rappresenta uno schema di principio di una ulteriore forma realizzativa del metodo per la selezione della polarizzazione del fascio laser all'interno di una cavità laser secondo l'invenzione;
- la figura 5 rappresenta uno schema di principio di una ulteriore forma realizzativa del metodo per la selezione della polarizzazione del fascio laser all'interno di una cavità laser secondo l'invenzione;

Ing. Giorgio CROVINI
Giorgio Crovini

- la figura 6 rappresenta la curva di potenza d'uscita di un esempio di realizzazione di una cavità laser in cui si attua la selezione della polarizzazione del fascio laser all'interno di una cavità laser secondo l'invenzione;
- la figura 7 rappresenta un andamento della variazione della potenza e della polarizzazione del fascio laser di una cavità laser secondo l'invenzione, al variare dell'angolo di allineamento dell'asse ottico del risonatore;
- la figura 8 rappresenta uno schema di principio di un metodo per la selezione della polarizzazione del fascio laser all'interno di una cavità laser operante in Q-switching, secondo l'invenzione;

L'idea inventiva che sottintende al trovato consiste sostanzialmente in un metodo per la selezione della polarizzazione del fascio laser oscillante all'interno di una cavità laser a stato solido ad elementi discreti che utilizza la proprietà di birifrangenza di un elemento ottico posto all'interno del risonatore laser ed agisce tramite un fenomeno di selettività angolare nell'allineamento del risonatore stesso.

E' ben noto che alcuni materiali cristallini comunemente impiegati all'interno dei sistemi laser sono caratterizzati da forte birifrangenza. Tra questi ricordiamo le categorie dei:

- cristalli non lineari utilizzati per interazioni parametriche e generazione di armoniche superiori, come, per esempio non limitante, KTP, BBO, LBO, KTA, RTA, RTP, LiNbO.
- materiali attivi birifrangenti, come, per esempio non limitante, Nd:YVO₄, Nd:GdVO₄, Nd:YLF, Nd:SFAP ed Yb:SFAP, Nd:BYF ed Yb:BYF, Nd:KGW ed Yb:KGW.
- matrici cristalline birifrangenti non drogate, come, per esempio non limitante, YVO₄, GdVO₄, Zaffiro, ecc.

Ai fini del metodo secondo l'invenzione, si deve intendere come materiale birifrangente ogni mezzo dotato di una anisotropia ottica ovvero una differenza finita tra i valori degli indici di rifrazione misurati in diverse direzioni all'interno del mezzo, tale anisotropia

Ing. Giorgio CROVINI



essendo naturale o indotta tramite azioni esterne di qualsiasi natura; sono di interesse i materiali dotati di trasparenza a una o più delle lunghezze d'onda laser proprie della cavità laser di cui si desidera l'oscillazione polarizzata. Per ciascuno di questi materiali risulta possibile definire il valore dell'indice di rifrazione che compete alla luce di una data lunghezza d'onda e polarizzata secondo una precisa direzione all'interno del materiale anisotropo, utilizzando, per esempio le equazioni approssimate di Sellmeier del materiale.

Al fine di chiarire il funzionamento del metodo secondo l'invenzione, si tratteggia con riferimento a figura 1 per sommi capi il fenomeno della doppia rifrazione .

In detta figura 1 è rappresentato un fascio laser 1 TEM (Trasversale Elettro-Magnetico) cui è associata una polarizzazione generica. Detto fascio laser 1 si propaga all'interno di un materiale anisotropo 9, secondo uno dei suoi assi principali di polarizzazione; le componenti di polarizzazione 2 e 3 del fascio laser 1 giacciono in un piano perpendicolare alla sua direzione di propagazione e in tale sezione del materiale anisotropo 9 è possibile, come è ben noto secondo i metodi dell'ottica classica, definire un'ellisse degli indici di rifrazione cui le componenti di polarizzazione sono soggette nella propagazione. E' possibile definire due assi principali di detta ellisse, con i due relativi valori, massimo e minimo, dell'indice di rifrazione; ai fini del metodo oggetto del presente trovato, i due valori massimo e minimo non devono coincidere; è altresì possibile scomporre la polarizzazione del fascio laser 1 in due componenti orientate secondo i due assi principali, cioè le sopramenzionate componente ordinaria 2 cui è associato un indice di rifrazione ordinario n_o e la componente straordinaria 3 cui è associato un indice di rifrazione straordinario n_e . Il diverso indice di rifrazione causa lo sfasamento reciproco di dette componenti di polarizzazione 2 e 3 man mano che progrediscono nel mezzo anisotropo 9.

Ing. Giorgio CROVINI



Il fascio laser 1, progredendo nel mezzo anisotropo 9, incontra una faccia 22, dove per faccia si intenda una superficie lavorata otticamente attraversata, o colpita, dal fascio laser 1, di uscita dal mezzo anisotropo 9 birifrangente verso un secondo mezzo 4, che in questo caso è costituito da aria, per comodità di esempio. Se la faccia 22, interfaccia fra il mezzo anisotropo 9 e il secondo mezzo 4, fosse scelta perpendicolare alla direzione di propagazione nel mezzo anisotropo 9, le due componenti di polarizzazione uscirebbero dal mezzo 9 sovrapposte, equidirezionali e sfasate tra loro.

Se la faccia 22 però, come illustrato in figura 1, non è perpendicolare alla direzione di propagazione all'interno del mezzo 9, si verifica il cosiddetto fenomeno della doppia rifrazione: le due componenti polarizzate 2 e 3 obbediscono alla legge di Snell,, $n_i \sin \theta_i = n_{ext} \sin \theta_{ext}$, dove si è indicato con n_i l'indice di rifrazione del mezzo birifrangente, θ_i l'angolo 5 formato tra la direzione di propagazione nel mezzo birifrangente e la normale alla superficie di interfaccia, n_{ext} l'indice di rifrazione dell'ambiente esterno ($n_{ext} = 1$ per l'aria) e θ_{ext} l'angolo di uscita misurato dalla normale alla superficie di interfaccia. Poiché le due componenti principali di polarizzazione sono associate a due differenti indici di rifrazione, n_o o n_e , risulta subito evidente che le due componenti di polarizzazione ordinaria e straordinaria 2 e 3 escono dalla faccia 22 come due componenti polarizzate di uscita 6 e 7 separate angularmente nelle direzioni di propagazione di una quantità $\theta_e - \theta_o = \arcsen(n_e \sin \theta_i / n_{ext}) - \arcsen(n_o \sin \theta_i / n_{ext})$ e sfasate. Risulta evidente che la separazione angolare è tanto più marcata quanto più elevata è la differenza tra gli indici di rifrazione n_o o n_e , quanto più elevato è l'angolo di incidenza all'interfaccia θ_i , nonché quanto più è alto il rapporto tra il valor medio degli indici del materiale anisotropo e l'indice di rifrazione del mezzo esterno (l'aria, con $n=1$ risulta quindi un materiale preferenziale per tale interfaccia).



Ing. Giorgio CROVINI

Ancora, la separazione angolare è massima se una delle direzioni principali, n_o (ordinario) o n_e (straordinario), giace nel piano in cui è definito l'angolo tra la normale all'interfaccia e la direzione di propagazione e, nel caso di interfaccia piana, l'altra giace nel piano dell'interfaccia.

In figura 2 è rappresentato uno schema di principio atto a illustrare il metodo secondo l'invenzione. In detta figura 2 è perciò rappresentata una cavità risonante 20 o risonatore ideale, definita da uno specchio 8 deposto su una prima faccia 31 del materiale anisotropo birifrangente 9, e da un secondo specchio 10 in aria posto ad una distanza prescelta dal materiale anisotropo 9. Il materiale anisotropo 9 è contenuto nella cavità risonante 20 definita dai due specchi 8 e 10.

La posizione e l'orientamento del primo specchio 8 vincolano la direzione di risonanza della cavità 20 in una prima direzione 11 esattamente perpendicolare al piano di detto specchio 8. Il mezzo anisotropo 9 presenta anisotropia ottica nel piano perpendicolare a tale direzione 11, mentre una seconda faccia 32 del materiale anisotropo 9, che costituisce l'interfaccia con l'aria 4, è inclinata di un angolo θ , rispetto a tale direzione 11. Risulta subito evidente che la cavità risonante 20 ideale così definita presenta due configurazioni diverse corrispondenti a due condizioni di risonanza al variare dell'orientazione dello specchio in aria 10: una prima condizione in cui lo specchio in aria 10 è in una posizione atta a riflettere la componente di polarizzazione ordinaria 6 lungo un cammino ottico verso la faccia 32, in maniera che all'interno del materiale anisotropo 9 detta componente 6 si allinei lungo la direzione 11; una seconda condizione in cui la posizione dello specchio 10 è atta a operare una tale riflessione per la componente di polarizzazione straordinaria 7.

Risulta quindi chiaro che la scelta di una delle due orientazioni di risonanza per lo specchio 10, esclude automaticamente l'oscillazione nella direzione rimanente e dunque

Ing. Giorgio CROVINI



la cavità 20 permette l'oscillazione di solo una delle direzioni principali di polarizzazione alla volta; in questo senso, un dispositivo opportunamente realizzato secondo questo metodo consente il massimo contrasto possibile nella selezione della polarizzazione.

La scelta dell'una o dell'altra polarizzazione dipende semplicemente dal riallineamento di uno specchio, lo specchio 10. Risulta anche evidente che tale scelta può essere effettuata mantenendo lo specchio 10 fisso e riallineando lo specchio 8, insieme al materiale birifrangente 9.

La condizione necessaria del metodo secondo l'invenzione sopra descritto è la presenza all'interno della cavità 20 di una superficie di interfaccia, la seconda faccia 32 in questo caso, tra un materiale otticamente anisotropo 9 e un altro mezzo ottico, l'aria nell'esempio, attraversata dal fascio laser 1 generato in cavità, detta superficie d'interfaccia essendo studiata non perpendicolare alla direzione di propagazione 11 di detto fascio laser 1.

Tale condizione risulta anche sufficiente qualora non esista all'interno della cavità risonante 20 un elemento in grado di cancellare la separazione angolare e/ o spaziale prodotta dall'interfaccia 32 sopra citata.

La maggior parte dei materiali birifrangenti adatti alla realizzazione pratica del metodo secondo l'invenzione sono già normalmente impiegati all'interno di cavità laser, e presentano assorbimenti e perdite trascurabili per la radiazione oscillante nel risonatore.

Il metodo schematizzato con riferimento a figura 2, si estende facilmente ad una cavità laser reale, valutando un opportuno parametro di sensibilità al disallineamento della cavità 20 stessa, definibile come l'inverso del minimo angolo di deviazione di uno specchio (o altro elemento ottico della cavità) dalla posizione di perfetto allineamento ottico, che provochi l'estinzione dell'oscillazione laser. Si veda in proposito la figura 7, meglio dettagliata più avanti nella descrizione. Detto parametro di sensibilità dipende,

Ing. Giorgio GROVINI
Giorgio Grovini

oltre che dal disegno ottico della cavità risonante, dal guadagno laser del mezzo attivo e dalle perdite totali del risonatore quando perfettamente allineato. Calcolato tale angolo relativamente all'interfaccia di selezione della polarizzazione, si otterrà una perfetta selezione di polarizzazione quando la separazione angolare tra le due componenti sia almeno pari al doppio dell'angolo di estinzione. Quando invece la separazione angolare risulta inferiore a tale valore, si può verificare l'oscillazione di entrambe le componenti di polarizzazione, in ragione maggiore o minore a seconda delle proprietà laser del materiale associate alle due componenti separate.

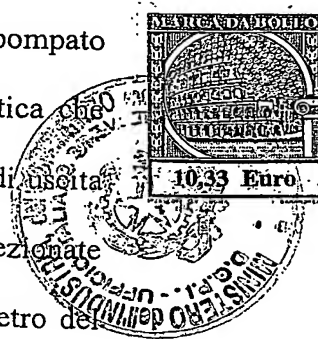
Sempre con riferimento allo schema di figura 2, si forniscono alcuni dettagli relativi a un'implementazione reale del metodo secondo l'invenzione.

La cavità 20, dove l'asse ordinario "o" è coincidente con l'asse cristallografico "c" del cristallo che costituisce il mezzo anisotropo 9 e l'asse straordinario "e" è coincidente con l'asse cristallografico "a" del mezzo 9 consta di un cristallo laser di Nd:YVO₄ a-cut, realizzato secondo lo schema, nel seguito descritto, di specchio birifrangente attivo. Detto cristallo laser presenta sezione quadrata di 4x4 mm² lungo le direzioni cristallografiche a e c, ed è lungo 7 mm lungo l'altro asse a, longitudinale. La prima faccia 31 del cristallo, piana e perpendicolare all'asse a longitudinale è dotata di un rivestimento dielettrico che la rende altamente riflettente ($R > 99.5\%$) alla lunghezza d'onda laser (in questo caso, 1064nm) e antiriflesso ($R < 5\%$) alla lunghezza d'onda di pompaggio (in questo caso, 808nm), realizzando così lo specchio 8. La seconda faccia 32, piana, è inclinata rispetto alla prima faccia 31, giacendo l'asse a trasversale nel piano della faccia stessa 32, e formando un angolo di circa 1° tra l'asse c e la proiezione di quest'ultimo sulla faccia 32 stessa. Detta seconda faccia 32 è dotata di un rivestimento dielettrico che la rende antiriflesso ($T > 99.8\%$) alla lunghezza d'onda del fascio laser 1. Ad una distanza di circa 6 cm dalla seconda faccia 32, è posto lo specchio 10, uno specchio accoppiatore d'uscita

Ing. Giorgio GROVINI

Prof. Grovini

piano, con trasmissione del 20% a 1064nm; lo specchio 10 è posto su un montaggio meccanico, non raffigurato, con regolazione micrometrica dell'angolazione attorno a due assi principali orientati come a e c nel cristallo laser. Il cristallo laser è pompato longitudinalmente con un diodo laser a semiconduttore accoppiato in fibra ottica che rende disponibili più di 20W. In figura 6, è mostrato l'andamento della potenza di uscita in funzione della potenza di pompa per le due differenti polarizzazioni (a e c) selezionate con il metodo secondo l'invenzione; si evidenzia come, a parità di ogni parametro del risonatore, le caratteristiche laser delle due polarizzazioni siano differenti a causa delle differenti proprietà laser, in particolare le sezioni di emissione stimolata competenti a i due assi cristallografici a e c del Nd:YVO₄. In figura 7, è riportato (pallini neri) l'andamento della potenza d'uscita al variare dell'orientamento dello specchio 10 di uscita (ruotato attorno alla direzione a) alla potenza di pompa di 18W circa. Si osservano chiaramente le due zone angolari di risonanza della cavità reale (curve a campana), una per la polarizzazione a ed una per la polarizzazione c, ed è evidente l'entità della tolleranza al disallineamento con circa 18W di pompa assorbiti nel cristallo laser. I due picchi di risonanza sono separati angularmente di circa 3.7 mrad, in ottimo accordo con il valore calcolato di 3.63 mrad per un angolo di inclinazione della seconda faccia di 1°, assumendo per n_e ed n_o i valori calcolati a 1064nm di 2.1652 e 1.9573, rispettivamente. Si osserva ancora come il laser non si estingua totalmente nel passaggio da una polarizzazione all'altra (essendo presente un residuo di circa 4W); in prossimità dei due picchi di risonanza, tuttavia, il grado di polarizzazione della radiazione in uscita è migliore di 50 parti contro una; ciò è dovuto al fenomeno di competizione tra le due polarizzazioni nello sfruttamento del guadagno laser: la polarizzazione risonante, che subisce meno perdite nell'oscillazione, priva l'altra del guadagno necessario all'oscillazione. Il grafico mostra inoltre come, incrementando l'angolo tra le due facce a



Ing. Giorgio GROVINI
Giorgio Grovini

2° circa, la separazione angolare raddoppi, assicurando l'estinzione totale dell'azione laser nel passaggio tra le due direzioni di risonanza.

Il metodo secondo l'invenzione può essere impiegato per realizzare diverse varianti realizzative di dispositivi per l'uso all'interno di un risonatore laser, alcuni dei quali vengono nel seguito descritti.

In figura 4 è illustrata una forma realizzativa che prevede di impiegare un materiale 9' attivo nella cavità risonante 20 che presenta isotropia ottica rispetto all'asse 11 di propagazione di cavità e quindi emette naturalmente luce laser non polarizzata. In tal caso è possibile realizzare la selezione di polarizzazione introducendo nella cavità 20 un elemento birifrangente 12 a forma di cuneo, con due facce 41 e 42, entrambe (alternativamente può essere inclinata solo una) inclinate rispetto alla direzione 11 di propagazione del modo nel risonatore 20 e l'una faccia inclinata rispetto all'altra. L'elemento birifrangente 12 viene realizzato preferibilmente in modo che l'asse principale straordinario del materiale giaccia nel piano della una faccia inclinata rispetto alla direzione di propagazione del fascio, e sia perpendicolare a tale direzione (perpendicolare al piano di incidenza), in modo da massimizzare l'effetto di separazione angolare fornito dalla doppia rifrazione all'interfaccia (o interfacce) tra l'elemento birifrangente 12 a cuneo e l'aria. Se entrambe le facce sono poste inclinate rispetto al fascio laser, la prima faccia 41 separa angularmente le polarizzazioni per doppia rifrazione, mentre la seconda faccia 42 accentua la separazione angolare. Le facce 41 e 42 attraversate dalla radiazione laser ricevono preferibilmente un rivestimento a strati dielettrici che le rende antiriflesso alla lunghezza d'onda laser e all'angolo di incidenza prescelto. Per angoli di incidenza piccoli ($<10^\circ$) tale trattamento dielettrico coincide con il normale trattamento antiriflesso per incidenza normale, richiedendo costi realizzativi affatto limitati. Materiali preferiti per realizzare l'elemento possono essere $GdVO_4$, YVO_4

Ing. Giorgio CROVINI
Geo. Crovini

o zaffiro, tagliati per una propagazione interna della luce lungo la direzione di massima anisotropia d'indice per le componenti trasversali della polarizzazione; nel caso, per esempio, di GdVO_4 e YVO_4 , la propagazione nel materiale avverrà preferibilmente lungo uno degli assi cristallografici "a", sfruttando appieno la forte differenza di indici tra gli assi perpendicolari "a" e "c"; questi materiali devono essere ritenuti preferibili per la loro ottima trasparenza, alta birifrangenza, alto indice di rifrazione medio, alta soglia di danneggiamento, facilità di realizzazione dei rivestimenti dielettrici antiriflesso, semplice reperibilità sul mercato, costo limitato.

In un'altra realizzazione illustrata in fig. 3, l'elemento birifrangente a facce non parallele può essere impiegato nella funzione di specchio di cavità 14, con una faccia 51 rivolta verso l'interno della cavità 20 dotata di un rivestimento dielettrico antiriflesso opportuno, e la faccia 52 esterna alla cavità dotata di un rivestimento dielettrico che la rende totalmente o parzialmente riflettente alla lunghezza (o alle lunghezze) d'onda laser di cavità, a definire uno "specchio birifrangente"; in tale realizzazione, la sola faccia 51 all'interno della cavità opera la separazione delle polarizzazioni, mentre la faccia 52 trattata a specchio, opportunamente allineata, effettua la selezione dell'una o dell'altra componente.

Nel caso invece che il materiale laser stesso presenti birifrangenza per le componenti di polarizzazione trasversale della radiazione laser che si propaga in cavità, lo stesso materiale attivo può essere realizzato con facce non parallele, per esempio, a forma di cuneo, secondo gli accorgimenti descritti al punto precedente; in tal senso, il materiale attivo opera la separazione angolare delle polarizzazioni, mentre un'ottica esterna, lo specchio 10, per esempio non limitante effettua la selezione della risonanza di una delle polarizzazioni.

In una possibile realizzazione di questo caso indicata in fig.5 il materiale laser

Ing. Giorgio GROVINI
Giorgio Grovini

birifrangente 9 è in forma di cuneo 13 ed è attraversato dal fascio laser 1; le facce 61 e 62 attraversate sono dotate di rivestimenti dielettrici antiriflesso opportuni per la lunghezza d'onda oscillante e per l'angolo d'incidenza prescelto.

Invece nella realizzazione mostrata in fig.2, o "specchio birifrangente attivo", il cristallo laser che costituisce il materiale anisotropo 9 è tagliato con la faccia 31 perpendicolare all'asse di propagazione che presenta la massima birifrangenza per le componenti trasversali di polarizzazione del fascio laser, e con la faccia 32 inclinata rispetto alla prima, il piano di tale faccia 32 contenendo uno degli assi principali dell'ellisse degli indici, allo scopo di massimizzare l'effetto di selezione. La prima faccia viene rivestita con strati dielettrici che realizzano lo specchio 8 di cavità, la seconda faccia 32 viene rivestita con strati dielettrici antiriflesso alla lunghezza d'onda laser all'angolo di incidenza definito dalla geometria dell'elemento.

In altre realizzazioni, in una cavità laser che contenga un cristallo non lineare per conversione della frequenza di cavità, il cristallo non lineare può essere tagliato con facce non parallele, per esempio, a forma di cuneo, in maniera analoga a quanto illustrato in fig. 4, dove l'elemento birifrangente 12 può essere il cristallo non lineare, e svolgere il ruolo di separatore della polarizzazione oscillante. Le facce del cristallo non lineare possono ricevere un opportuno trattamento dielettrico che le renda antiriflesso (o riflettenti) a una o più delle lunghezze d'onda laser presenti in cavità.

In un'altra realizzazione, in una cavità laser che contenga un modulatore ottico (tipicamente, di Q-switching o di mode-locking) realizzato in opportuno materiale birifrangente (come esempio non limitativo LiNbO_3) l'elemento o gli elementi modulatori possono essere opportunamente realizzati con facce non parallele (per esempio, a forma di cuneo) come descritto per le realizzazioni precedenti, in maniera analoga a quanto illustrato in fig. 4, dove l'elemento birifrangente 12 può essere il

Ing. Giorgio GROVINI
Giorgio Grovini

cristallo modulatore, per assolvere alla funzione di separazione delle polarizzazioni principali, mentre la funzione di selezione viene assolta da uno degli specchi o altro elemento ottico formante la cavità.

La selezione della polarizzazione del fascio all'interno di una cavità laser è utile, in primo luogo, perché permette di scegliere una o più proprietà ottiche del fascio d'uscita legate al suo stato di polarizzazione; tuttavia la selezione dello stato di polarizzazione del fascio laser viene anche utilizzata per indurre effetti desiderati di modulazione delle perdite di una cavità. Se, infatti, un risonatore laser contiene un elemento che seleziona lo stato di polarizzazione del fascio, quel risonatore è caratterizzato da perdite trascurabili, o comunque minime, solo per un fascio laser in quel determinato stato di polarizzazione; qualsiasi effetto ottico che permetta di variare lo stato di polarizzazione del fascio che si propaga in cavità (come ad esempio la rotazione di una polarizzazione lineare) non può che aumentare il livello di perdite tipico della suddetta cavità.

Un'opportuna introduzione di perdite modulabili della cavità laser ottenute mediante

- la selezione di una polarizzazione secondo il metodo oggetto del trovato
- e la modulazione della polarizzazione del fascio laser che si propaga in cavità

può essere impiegata per ottenere il funzionamento di cavità laser in regime di Mode-Locking o Q-Switching.

Normalmente, ma non necessariamente, per ottenere un buon funzionamento in Mode-Locking è sufficiente introdurre delle perdite periodiche relativamente basse (alcuni %), con un periodo temporale accordato al periodo di 'round trip' della cavità laser.

Se invece il metodo di selezione della polarizzazione è tale da permettere l'oscillazione di un determinato stato di polarizzazione (come il metodo in oggetto) ed, al contempo, da impedire che oscilli qualsiasi fascio laser in uno stato di polarizzazione ortogonale, allora il livello di perdite introducibile mediante un effetto di variazione della polarizzazione in



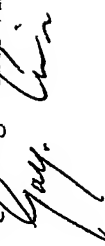
Ing. Giorgio CROVINI
Giovanni

cavità può arrivare a causare la soppressione dell'oscillazione laser; in questi casi un effetto di variazione controllata della polarizzazione del fascio laser che si propaga in cavità permetterebbe di passare da una situazione di basse perdite (potenza d'uscita massima) ad una situazione di perdite massime (potenza d'uscita nulla); questo tipo di condizione è essenziale per ottenere il funzionamento delle cavità laser in regime di Q-Switching.

Si descrive nel seguito un esempio, non limitativo, di cavità laser operante in Q-Switching, in cui le necessarie perdite (modulabili) vengono ottenute grazie all'utilizzo della selezione di polarizzazione attuata secondo il metodo oggetto del presente trovato.

Nella cavità realizzata come nello schema di figura 8, analogo a quello di figura 2, ove il mezzo attivo 9 è un cristallo attivo di Nd:YVO o Nd:GVO realizzato a foggia di specchio birifrangente attivo, si inserisce un modulatore elettro-ottico di Q-switching 33, tipicamente costituito da uno o più cristalli in grado di ruotare la polarizzazione del fascio laser per effetto elettro-ottico al variare del campo elettrico a cui sono sottoposti, tra il mezzo attivo 9 e lo specchio 10, posizionandolo per la massima efficienza (in modo che la potenza d'uscita sia massima quando il modulatore è spento, cioè sottoposto a campo elettrico nullo). Allineando lo specchio 10 per la risonanza della polarizzazione c, e mantenendo il modulatore spento, la cavità può laserare con perdite trascurabili. Applicando al modulatore la opportuna tensione "di $\lambda/4$ ", quest'ultimo, nel transito del fascio laser dal cristallo 9 allo specchio 10 e di nuovo al cristallo 9, ruota la polarizzazione del fascio di 90° . Il fascio torna al cristallo 9 con una polarizzazione per la quale il risonatore non è allineato, e il laser si estingue totalmente. Alternando la tensione di comando, il laser opera in perfetto regime di Q-switching, senza impiegare a tal fine l'elemento polarizzatore tradizionale normalmente utilizzato nell'arte nota. In questo caso il vantaggio offerto dal presente metodo nella realizzazione di cavità operanti in Q-

Ing. Giorgio CROVINI



Switching è di assoluto rilievo in quanto permette di eliminare dalla cavità l'elemento polarizzatore tradizionale, normalmente considerato critico nei laser ad alto guadagno; infatti la costruzione di polarizzatori con alto potere di estinzione per la polarizzazione da sopprimere e perdite trascurabili per la polarizzazione da selezionare ed, al contempo, alta resistenza al danneggiamento ottico risulta non banale o, in alcuni casi, impossibile.

Dalla descrizione effettuata risultano pertanto chiare le caratteristiche della presente invenzione, così come chiari risultano i suoi vantaggi.

Vantaggiosamente il metodo per la selezione della polarizzazione del fascio laser all'interno di una cavità laser secondo l'invenzione permette la scelta dell'una o dell'altra componente di polarizzazione in modo che dipenda semplicemente dal riallineamento del risonatore. In particolare, si rileva come, nel metodo secondo l'invenzione, la separazione delle polarizzazioni, e la selezione della polarizzazione oscillante risultano due processi indipendenti, al limite realizzabili con un solo elemento ottico birifrangente, e, soprattutto, che la selezione dipende esclusivamente dall'allineamento ottico del risonatore, a differenza di quanto accade nei metodi tradizionali. Ancora, il metodo proposto si basa sulla creazione di differenti condizioni di risonanza del medesimo oscillatore, ciascuna delle quali può essere selezionata con l'allineamento ottico dello stesso.

Inoltre, vantaggiosamente, la maggior parte dei materiali birifrangenti adatti alla realizzazione pratica del metodo per la selezione della polarizzazione del fascio laser all'interno di una cavità laser secondo l'invenzione sono già normalmente impiegati all'interno di cavità laser, e presentano assorbimenti e perdite trascurabili per la radiazione oscillante nel risonatore.

Il metodo per la selezione della polarizzazione del fascio laser all'interno di una cavità laser secondo l'invenzione si estende facilmente dai modelli ideali ad una cavità laser


Ing. Giorgio GROVINI



reale, valutando un opportuno parametro di sensibilità al disallineamento della cavità stessa; nel dimensionamento di un dispositivo reale secondo il metodo, si utilizza tale parametro per controllare l'oscillazione di una o entrambe le componenti di polarizzazione, in ragione maggiore o minore a seconda delle proprietà laser del materiale associate alle due componenti separate.

E' chiaro che numerose varianti sono possibili per l'uomo del ramo al metodo per la selezione della polarizzazione del fascio laser all'interno di una cavità laser descritti come esempio, senza per questo uscire dai principi di novità insiti nell'idea inventiva, così come è chiaro che nella sua pratica attuazione le forme dei dettagli illustrati potranno essere diverse, e gli stessi potranno essere sostituiti con degli elementi tecnicamente equivalenti.

* * * * *

Ing. Giorgio CROVINI


RIVENDICAZIONI

1. Metodo per la selezione della polarizzazione del fascio laser all'interno di una cavità laser che prevede di generare un fascio laser (1) all'interno di detta cavità laser risonante (20), che comprende mezzi ottici (8,10,9;9',12;14;13;33) comprendenti a loro volta uno o più mezzi ottici birifrangenti (9;12;14;13), caratterizzato dal fatto di impiegare detti mezzi ottici birifrangenti (9;12;14;13) per indurre un effetto di doppia rifrazione sul fascio laser (1) e, all'interfaccia (22;32;41,42;51,52;61,62) tra detti mezzi (9;12;14;13) ed un secondo mezzo con diverso indice di rifrazione, separare le direzioni di propagazione delle differenti componenti di polarizzazione (2,3) del fascio laser (1) fornendo una pluralità di direzioni di risonanza (6,7) distinte per le differenti componenti di polarizzazione (2, 3), e di allineare selettivamente l'asse ottico della cavità (20) su di una delle dette posizioni di risonanza (6,7), tramite la regolazione della posizione di uno o più degli elementi ottici (8,9,10;9',12;14;13,33) che formano detta cavità (20).
2. Metodo per la selezione della polarizzazione del fascio laser all'interno di una cavità laser secondo la rivendicazione 1, caratterizzato dal fatto che detta cavità (20) contiene un materiale attivo (9') con proprietà isotrope di emissione.
3. Metodo per la selezione della polarizzazione del fascio laser all'interno di una cavità laser secondo la rivendicazione 1, caratterizzato dal fatto che detta cavità (20) contiene un materiale attivo (9) con proprietà anisotrope di emissione.
4. Metodo per la selezione della polarizzazione del fascio laser all'interno di una cavità laser secondo la rivendicazione 2 o 3, caratterizzato dal fatto che all'interno della cavità risonante (20) la pluralità di posizioni di risonanza (6,7) corrisponde a una pluralità di diversi cammini ottici che abilitano una particolare polarizzazione e/o lunghezza d'onda o altra proprietà laser.



Ing. Giorgio CROVINI
Giorgio Crovini

5. Metodo per la selezione della polarizzazione del fascio laser all'interno di una cavità laser secondo la rivendicazione 4, caratterizzato dal fatto che prevede di imporre in un ben definito cammino nella cavità laser (20) una quantità controllata di perdite individualmente sperimentate da una o entrambe le polarizzazioni e/o lunghezze d'onda.
6. Metodo per la selezione della polarizzazione del fascio laser all'interno di una cavità laser secondo la rivendicazione 4, caratterizzato dal fatto che detta cavità (20) contiene un cristallo birifrangente per produrre le componenti di polarizzazione separate.
7. Metodo per la selezione della polarizzazione del fascio laser all'interno di una cavità laser secondo la rivendicazione 4, caratterizzato dal fatto che detta cavità (20) contiene un materiale attivo laser birifrangente per produrre le componenti di polarizzazione separate.
8. Metodo per la selezione della polarizzazione del fascio laser all'interno di una cavità laser secondo la rivendicazione 4 caratterizzato dal fatto che detta cavità (20) contiene un cristallo non lineare per produrre le componenti di polarizzazione separate.
9. Metodo per la selezione della polarizzazione del fascio laser all'interno di una cavità laser secondo la rivendicazione 4 caratterizzato dal fatto che detta cavità (20) contiene un modulatore ottico, di Q-switching o di mode locking. il cui elemento ottico birifrangente attivo è utilizzato per produrre le componenti di polarizzazione separate.
10. Metodo per la selezione della polarizzazione del fascio laser all'interno di una cavità laser secondo una o più delle rivendicazioni precedenti, caratterizzato dal fatto di impiegare più di una interfaccia tra il mezzo birifrangente e un altro mezzo

Ing. Giorgio CROVINI
Giorgio Crovini

per la separazione delle polarizzazioni.

11. Metodo per la selezione della polarizzazione del fascio laser all'interno di una cavità laser secondo una o più delle rivendicazioni precedenti, caratterizzato dal fatto che detti mezzi ottici birifrangenti in detta cavità (20) sono una pluralità di elementi birifrangenti per separare le polarizzazioni.
12. Metodo per la selezione della polarizzazione del fascio laser all'interno di una cavità laser secondo una o più delle rivendicazioni precedenti, caratterizzato dal fatto che prevede di selezionare la polarizzazione o la lunghezza d'onda risonante tramite l'allineamento di uno specchio (10;52) appartenente ai mezzi ottici di detta cavità risonante (20).
13. Metodo per la selezione della polarizzazione del fascio laser all'interno di una cavità laser secondo una o più delle rivendicazioni precedenti, caratterizzato dal fatto di verificare la risonanza di una polarizzazione o lunghezza d'onda oscillante e di evitare l'estinzione totale delle altre possibili polarizzazioni o lunghezze d'onda.
14. Metodo per la selezione della polarizzazione del fascio laser all'interno di una cavità laser secondo una o più delle rivendicazioni precedenti, caratterizzato dal fatto di verificare la risonanza di una polarizzazione o lunghezza d'onda oscillante e mantenere l'oscillazione contemporanea di una frazione ben controllata delle altre possibili polarizzazioni o lunghezze d'onda.
15. Sistema laser del tipo che comprende un fascio laser (1) generato in una cavità risonante (20), detta cavità risonante (20) comprendendo mezzi ottici (8,10,9;9',12;14;13;33) fra i quali uno o più mezzi ottici (9;12;14;13;) dotati di proprietà di birifrangenza, caratterizzato dal fatto che detti mezzi ottici (9;12;14;13) dotati di proprietà di birifrangenza producono doppia rifrazione per delle componenti polarizzate (2,3) di detto fascio (1) e condizioni multiple di risonanza (6,7) della cavità (20), e che detta cavità

Ing. Giorgio CROVINI
Giorgio Crovini

(20) viene allineata, tramite uno o più degli elementi ottici (8,10,9;9',12;14;13;33) che la compongono, su una delle dette direzioni di risonanza (6,7) per selezionare una componente specifica di polarizzazione.

16. Sistema laser secondo la rivendicazione 15, caratterizzato dal fatto che la cavità (20) contiene uno specchio birifrangente (14), costituito da un materiale birifrangente a facce non parallele, in particolare un cuneo, con una prima faccia (51) interna alla cavità (20) e una seconda faccia (52) lavorata a specchio, la prima faccia (51) essendo angolata rispetto alla seconda, in grado di operare il processo di separazione delle polarizzazioni, e selezione delle stesse tramite l'allineamento dello stesso specchio, o di un altro qualsiasi elemento ottico (8,10,9;9',12;14;13;33) della cavità (20), sulla posizione di risonanza (6,7) desiderata.

17. Sistema laser secondo la rivendicazione 15, caratterizzato dal fatto che la cavità contiene uno specchio birifrangente attivo (9), costituito da un materiale birifrangente a facce non parallele, in particolare un cuneo, con una faccia (32) interna alla cavità e una seconda faccia (31) lavorata a specchio come sopra descritto, in grado di operare il processo di separazione delle polarizzazioni, e selezione delle stesse tramite l'allineamento dello stesso specchio o di un altro qualsiasi elemento ottico (8,10,9;9',12;14;13;33) della cavità (20) sulla posizione di risonanza (6,7) desiderata, e nello stesso tempo di fornire un guadagno laser alla cavità (20).

18. Sistema laser secondo la rivendicazione 15, caratterizzato dal fatto che la cavità (20) contiene un dispositivo birifrangente (12;13) costituito da un materiale birifrangente a facce non parallele, in particolare a forma di cuneo, posto all'interno della cavità (20) come sopra descritto, la prima faccia (41;61) essendo angolata rispetto alla seconda (42;62), in grado di operare il processo di separazione delle polarizzazioni,

Ing. Giorgio GROVINI
Giorgio Grovini

ed eventuale selezione delle stesse tramite la rotazione attorno ad uno dei propri assi o al riallineamento di un altro qualsiasi elemento ottico (8,10,9;9°,12,14;13;33) della cavità risonante (20).

19. Sistema laser secondo una delle rivendicazioni precedenti, caratterizzato dal fatto che il materiale birifrangente sia YLF o Nd:YLF o GdVO₄ o YVO₄ o Nd:GdVO₄ o Nd:YVO₄.

20. Sistema laser secondo il metodo della rivendicazione 1 e seguenti.

21. Un risonatore laser a stato solido ad elementi discreti, contenente un modulatore elettro-ottico di Q-switching (33), in cui la modulazione dello stato di perdite della cavità (20) sia ottenuta dall'effetto combinato del modulatore elettro-ottico (33) e dalla selezione della polarizzazione determinata in base al metodo delle rivendicazioni 1 e seguenti., o tramite l'uso di uno o più dei dispositivi delle rivendicazioni 15 e seguenti.

22. Un risonatore laser a stato solido ad elementi discreti, operante in regime di Mode-Locking, in cui la modulazione dello stato di perdite della cavità sia ottenuta con il concorso di una selezione della polarizzazione e/o della lunghezza d'onda e/o di altra caratteristica laser determinata in base al metodo delle rivendicazioni 1 e segg., o tramite l'uso di uno o più dei dispositivi delle rivendicazioni 15 e segg.

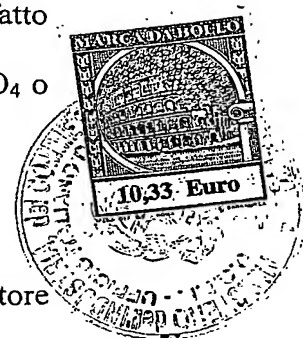
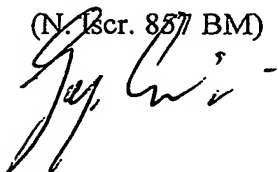
23. Metodo per la selezione della polarizzazione del fascio laser all'interno di una cavità laser e/o sistema laser e/o risonatore laser secondo gli insegnamenti della presente descrizione e dei disegni annessi.

* * * * *

Bright Solutions Soluzioni Laser Innovative s.r.l.

Ing. Giorgio CROVINI

(N. Iscr. 887 BM)



10 2002 A000845

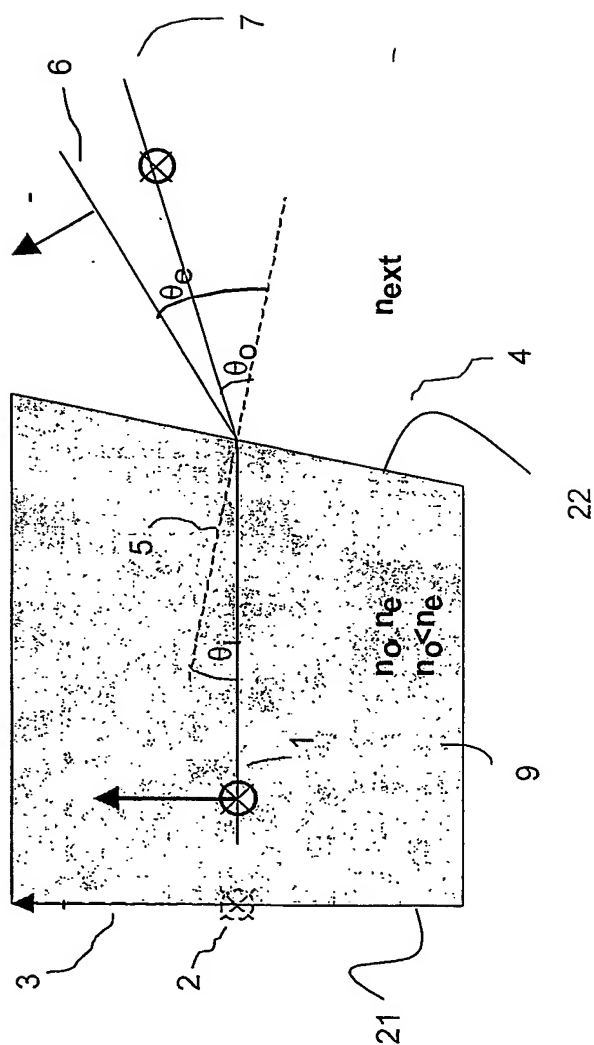


Fig. 1

Ing. Giorgio CROVINI

Payee's Signature



Mr.

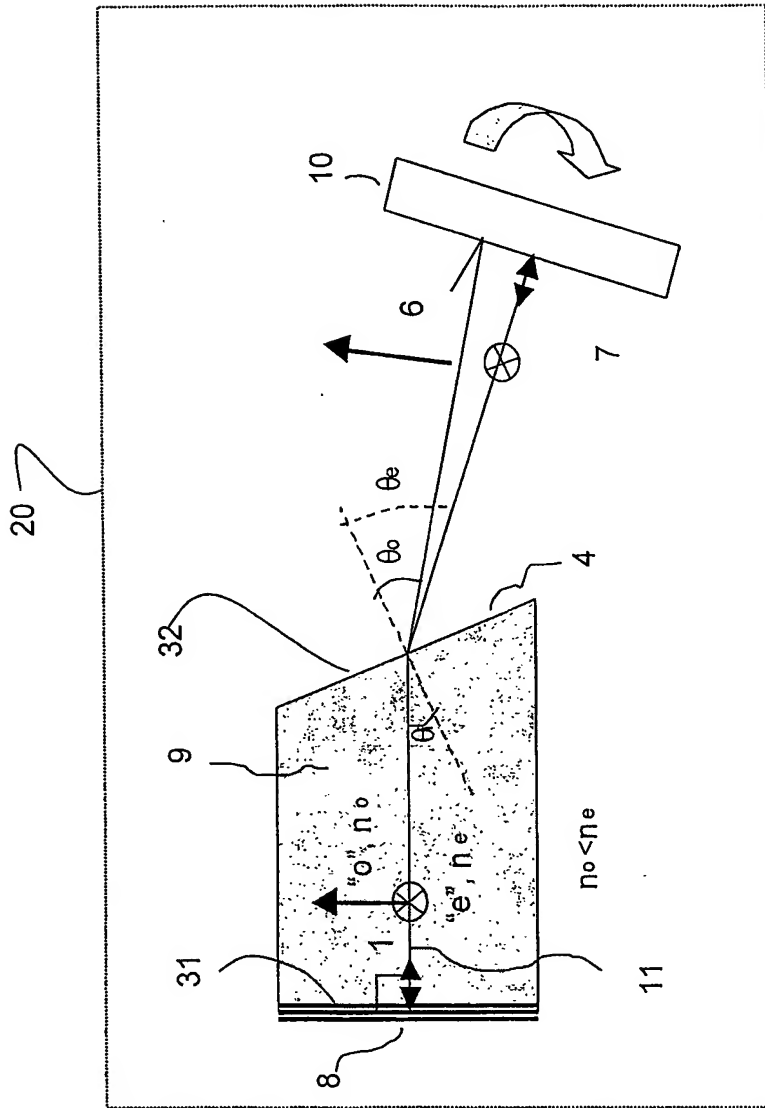


Fig. 2

Ingeg. Giorgio CROVINI

Giorgio Crovini

Fig. 3

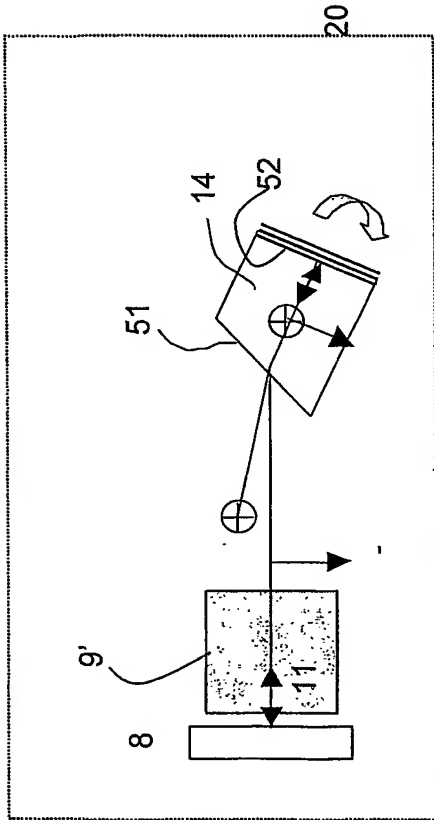
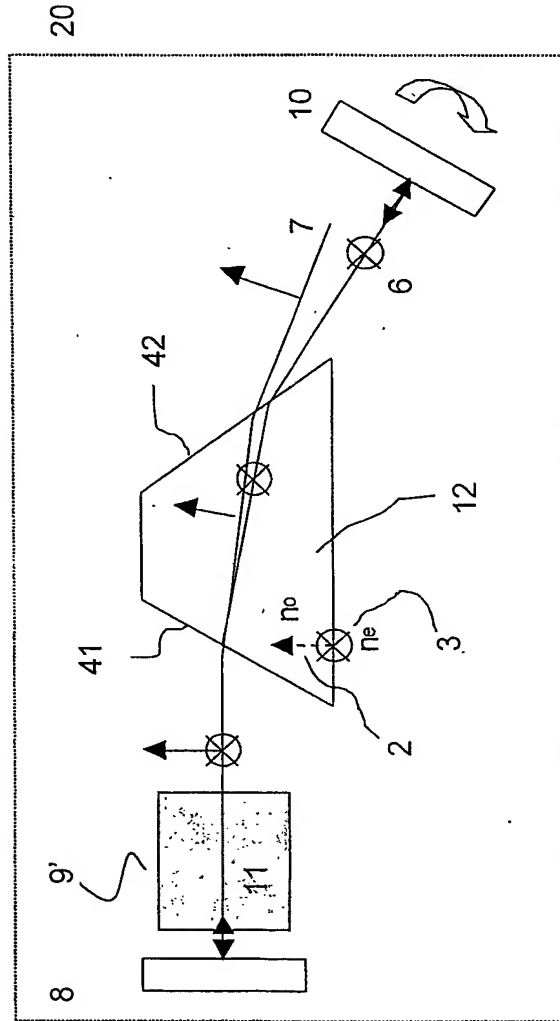


Fig. 4



Ing. Giorgio CROVINI

Ing. CROVINI

10 2002 A 000845

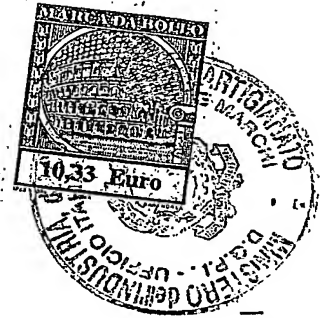
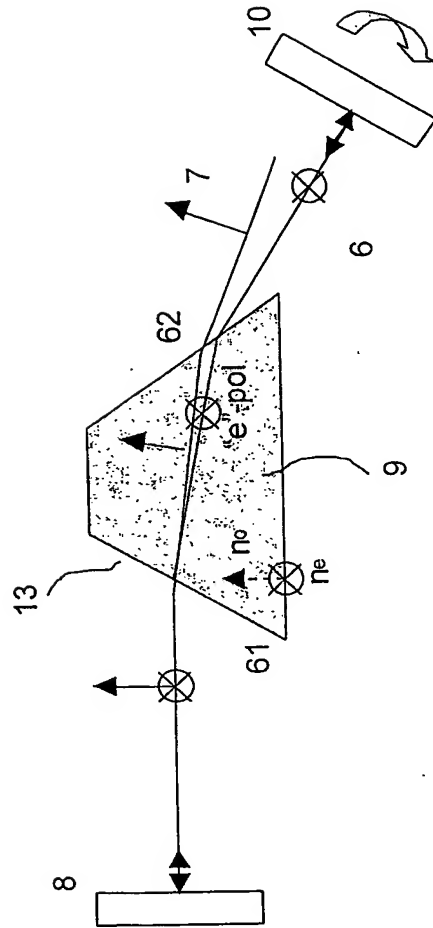


Fig.5

Ing. Giorgio CROVINI

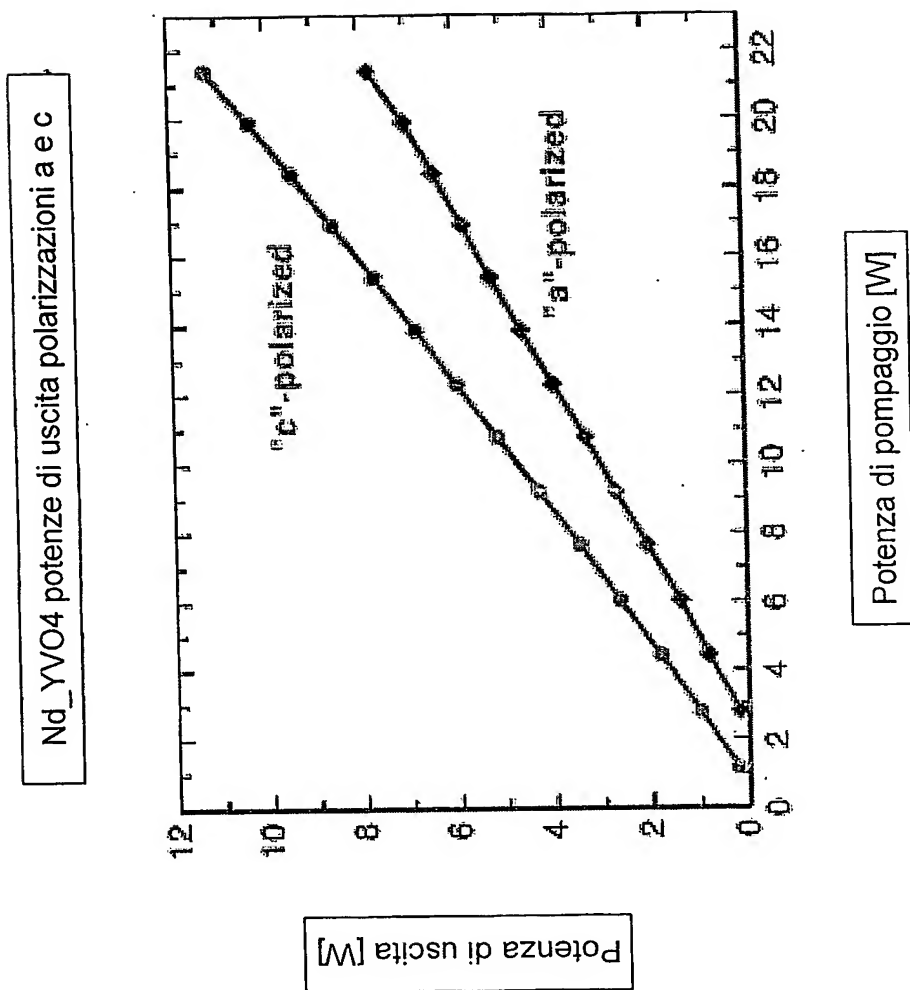


Fig. 6

Ing. Giorgio CROVINI

Giorgio Crovini

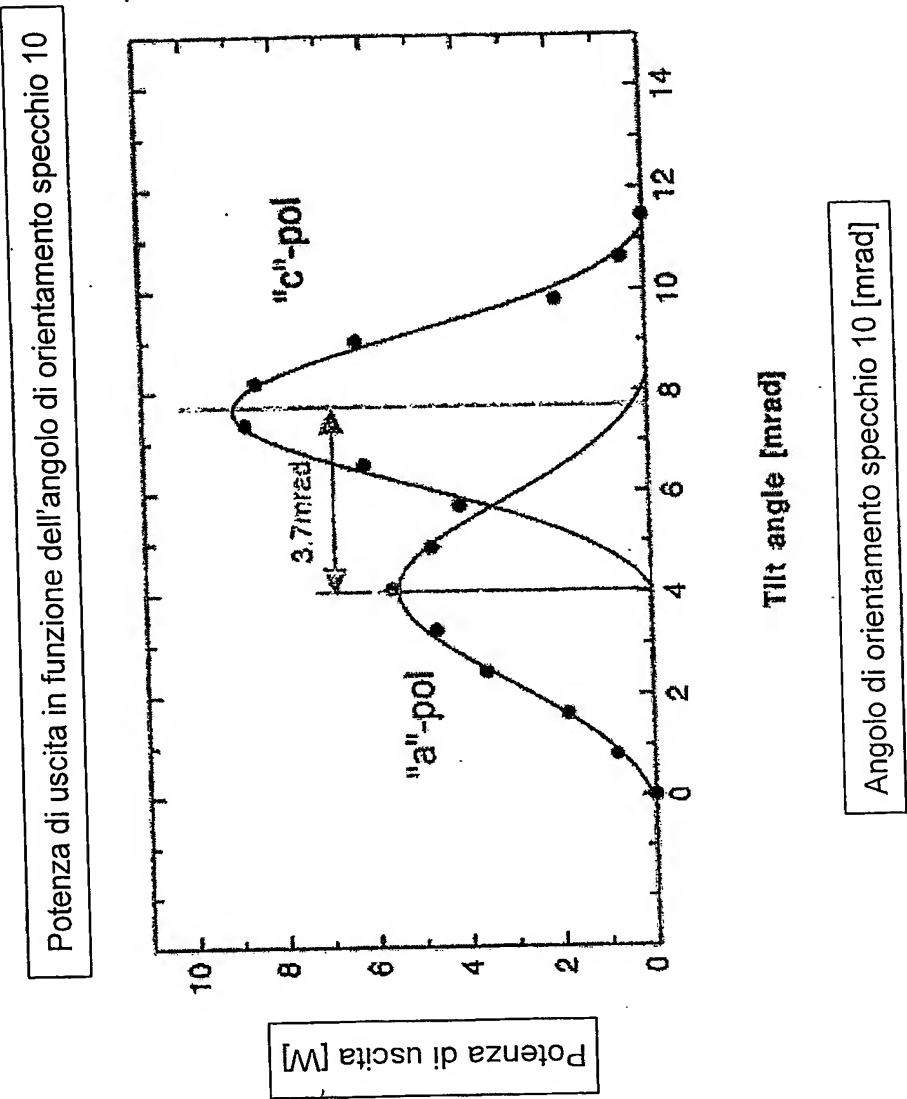
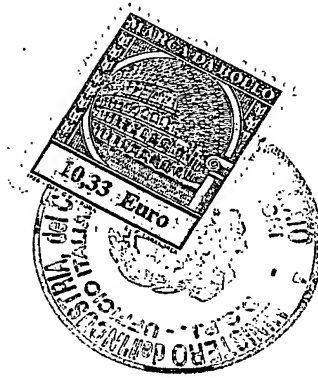
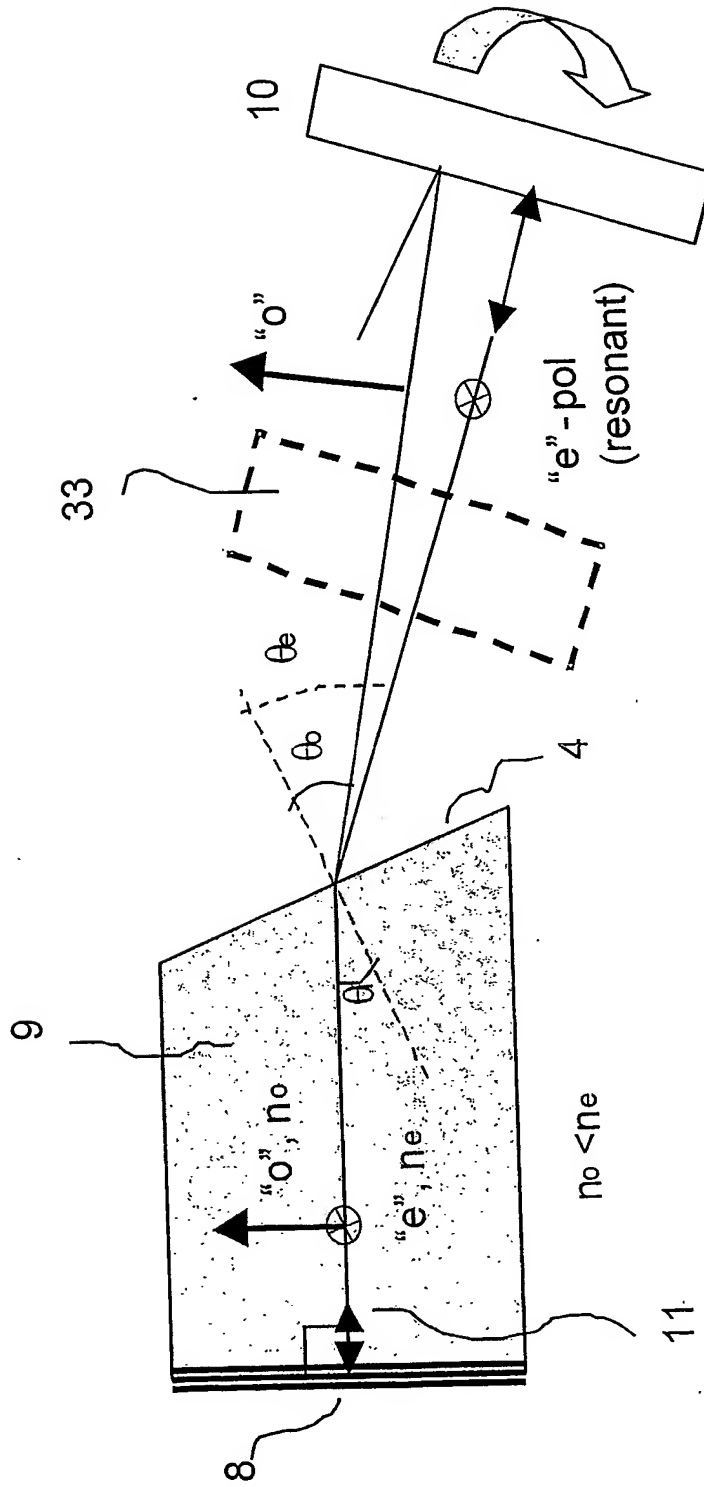


Fig. 7

Ing. Giorgio CROVINI



~~Ing. Giorgio CROVINI~~



Fig. 8